

**Carbon nanotube field effect transistor has two nanotubes spaced apart to prevent tunnel current between them**

Veröffentlichungsnr. (Sek.) DE10032370  
Veröffentlichungsdatum : 2001-12-13  
Erfinder : HANEDER THOMAS PETER [DE]; HOENLEIN WOLFGANG [DE]; KREUPL FRANZ [DE]  
Anmelder : INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]  
Veröffentlichungsnummer : ☐ DE10032370  
Aktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE20001032370 20000704  
Prioritätsaktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE20001032370 20000704  
Klassifikationssymbol (IPC) : H01L29/775; H01L29/15; B82B1/00  
Klassifikationssymbol (EC) : H01L51/20B2B, H01L51/20F, H01L51/30F4  
Korrespondierende Patentschriften

---

**Bibliographische Daten**

---

The field effect transistor (100) has a first carbon nanotube (101), providing a source region, a channel region and a drain region and a second carbon nanotube (106), providing a gate region and supplied with a control voltage, for controlling the conductivity of the channel region. The nanotubes are spaced apart by a sufficient distance to prevent any tunnel current between them, e.g. the second nanotube is applied to an insulation layer (105) around the channel region provided by the first nanotube.

---

Daten aus der **esp@cenet** Datenbank - - I2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 100 32 370 C 1

⑤① Int. Cl. 7:  
H 01 L 29/775  
H 01 L 29/15  
B 82 B 1/00

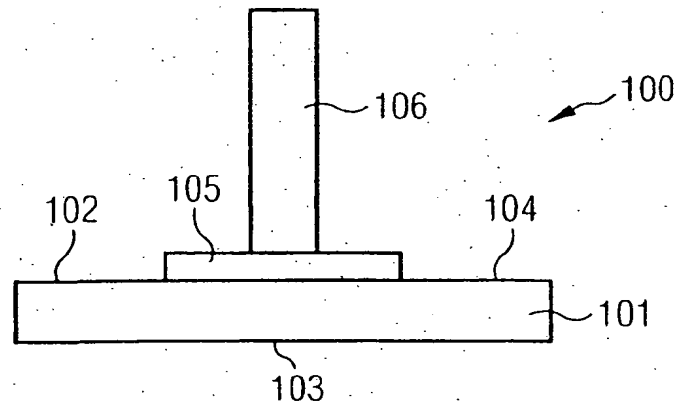
⑳ Aktenzeichen: 100 32 370.7-33  
㉔ Anmeldetag: 4. 7. 2000  
㉕ Offenlegungstag: -  
㉖ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 13. 12. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

- ⑦③ Patentinhaber:  
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE
- ⑦④ Vertreter:  
Viering, Jentschura & Partner, 80538 München
- ⑦② Erfinder:  
Haneder, Thomas Peter, 81549 München, DE;  
Hoenlein, Wolfgang, Dr., 82008 Unterhaching, DE;  
Kreupl, Franz, Dr., 80469 München, DE
- ⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
TIETZE, U., SCHENK, Ch.: Halbleiterschaltungs-  
technik, 11. Aufl., Springer Verlag, ISBN 3-540-  
64192-0, S. 187-218, 1999;  
REN, Z.F. et al: Synthesis of Large Arrays of  
Well-Aligned Carbon Nanotubes on Glass, SCIENCE,  
Vol. 282, S. 1105-1107, November 1998;  
SUH, Young Sang und LEE, Yin Seong: Highly-

Ordered Two-Dimensional Carbon-Nanotubes  
Areas,  
Applied Physics Letters, Vol. 75, Nr. 14,  
S. 2047-2049, Oktober 1991;  
DEKKER, T.: Carbon-Nanotubes as Molecular  
Quantum Wires, Physics Today, S. 22-28, Mai 1999;  
HAN, W. et al: Synthesis of Boron Nitride Nano-  
tubes From Carbon Nanotubes by a substitution  
Reaction, Applied Physics Letters, Vol. 73,  
Number 21, S. 3085-3087, November 1998;  
MARTEL, R. et al: Single- and Multi-Wall Carbon  
Nanotube Field-Effect Transistors, Applied  
Physics Letters, Vol. 73, Number 17, S. 2447-2449,  
October 1998;  
CHUNG, Sung-Wook et al: Silicon nanowire  
devices,  
Applied Physics Letters, Vol. 76, No. 15,  
S. 2068-2070, 1999;

- ⑤④ Feldeffekttransistor
- ⑤⑦ Der Feldeffekttransistor weist einen Source-Bereich, ei-  
nen Kanalbereich und einen Drain-Bereich bildende erste  
Nanoröhre auf. Eine den Gate-Bereich bildende zweite  
Nanoröhre ist von der ersten Nanoröhre in einem Ab-  
stand angeordnet, derart, dass im wesentlichen kein Tun-  
nelstrom zwischen den Nanoröhren möglich ist und dass  
mittels eines Feldeffekts durch Anlegen einer elektrischen  
Spannung an die zweite Nanoröhre die Leitfähigkeit des  
Kanalbereichs der ersten Nanoröhre steuerbar ist.



DE 100 32 370 C 1

DE 100 32 370 C 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Feldeffekttransistor.  
[0002] Aus [1] sind eine Vielzahl unterschiedlicher Feldeffekttransistoren bekannt.

[0003] Ein Beispiel eines solchen Feldeffekttransistors ist der sogenannte MOS-Feldeffekttransistor.

[0004] Ein MOS-Feldeffekttransistor weist gemäß heutiger Technologie noch eine Chipfläche von mindestens ungefähr  $0,8 \mu\text{m}^2$  bis  $1,5 \mu\text{m}^2$  auf.

[0005] Weiterhin sind Grundlagen über sogenannte Carbon-Nanoröhren, die im weiteren als Kohlenstoff-Nanoröhren bezeichnet werden, aus [2] und [4] bekannt.

[0006] Ein Verfahren zum Herstellen von Kohlenstoff-Nanoröhren mittels Aufwachsen derselben auf einem Substrat, ist aus [3] bekannt.

[0007] Ein weiteres Verfahren zum Herstellen von Kohlenstoff-Nanoröhren durch Abscheiden der Kohlenstoff-Nanoröhren aus der Gasphase ist in [4] beschrieben.

[0008] Weiterhin ist aus [5] ein Verfahren bekannt, bei dem eine elektrisch halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhre oder eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre mittels Dotierung von Bor-Atomen und Stickstoff-Atomen umgewandelt wird in eine Bor-Nitrid-Nanoröhre, die elektrisch isolierend wirken.

[0009] Weiterhin ist aus [6] ein Feldeffekttransistor mit einer Kohlenstoff-Nanoröhre bekannt, die zwei Goldelektroden miteinander über ein Siliziumdioxid-Substrat elektrisch steuerbar koppelt. In diesem Fall bilden die Goldelektroden den Source-Bereich bzw. den Drain-Bereich des Feldeffekttransistors und der gesteuerte Kanalbereich des Feldeffekttransistors wird von der Kohlenstoff-Nanoröhre gebildet. Über eine sich unterhalb der Siliziumdioxid-Schicht befindenden Silizium-Schicht, die als Gate-Bereich des Feldeffekttransistors verwendet wird, wird die den Kanalbereich bildende Kohlenstoff-Nanoröhre in ihren elektrischen Eigenschaften, insbesondere in ihrer elektrischen Leitfähigkeit gesteuert.

[0010] Aus [7] ist ferner ein Verfahren zum Herstellen eines Silizium-Nanodrahts bekannt.

[0011] Somit liegt der Erfindung das Problem zugrunde, einen Feldeffekttransistor mit einem gegenüber den bekannten Feldeffekttransistoren geringerem Flächenbedarf anzugeben.

[0012] Ein Feldeffekttransistor weist eine erste Nanoröhre auf, die einen Source-Bereich, einen Kanalbereich und einen Drain-Bereich des Feldeffekttransistors bildet. Die erste Nanoröhre ist eine halbleitende und/oder eine metallisch leitende Nanoröhre. Weiterhin ist eine zweite Nanoröhre vorgesehen, die einen Gate-Bereich des Feldeffekttransistors bildet, wobei die zweite Nanoröhre eine halbleitende und/oder eine metallisch leitende Nanoröhre ist. Die erste Nanoröhre und die zweite Nanoröhre sind in einem Abstand voneinander angeordnet derart, dass im wesentlichen kein Tunnelstrom zwischen den Nanoröhren möglich ist und dass mittels eines Feldeffekts durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die zweite Nanoröhre die Leitfähigkeit des Kanalbereichs der ersten Nanoröhre steuerbar ist.

[0013] Da der Feldeffekttransistor im wesentlichen aus Nanoröhren gebildet wird ist somit ein Transistor mit gegenüber den bekannten Feldeffekttransistoren erheblich geringerem Flächenverbrauch geschaffen.

[0014] Weiterhin ist ein Schaltvorgang zwischen zwei Zuständen des Feldeffekttransistors mit erheblich verringerter Verlustleistung möglich, insbesondere aufgrund der im Vergleich zu herkömmlichen Feldeffekttransistoren erheblich geringeren Kapazität und der sehr guten elektrischen Leitfähigkeit insbesondere der Kohlenstoff-Nanoröhren.

[0015] Die Leitfähigkeit der ersten Nanoröhre wird aufgrund eines lokalen Anlegens eines elektrischen Potentials und somit eines elektrischen Feldes insbesondere in dem den Kanalbereich bildenden Abschnitt der ersten Nanoröhre variiert, wodurch die Funktionalität eines Feldeffekttransistors geschaffen worden ist.

[0016] Als Material für die erste Nanoröhre kann jedes Material eingesetzt werden, solange die erste Nanoröhre elektrisch halbleitende und/oder metallisch leitende Eigenschaften aufweist.

[0017] Außerdem können der Source-Bereich bzw. der Drain-Bereich sowie der Kanalbereich der ersten Nanoröhre dotiert werden. Auf diese Weise kann im Kanalbereich eine Potentialbarriere erzeugt werden, die zur Verringerung von Leckströmen im Ruhezustand führt. Vorzugsweise werden der Source-Bereich und der Drain-Bereich sowie der Kanalbereich so dotiert, dass sowohl zwischen dem Source-Bereich und dem Kanalbereich als auch zwischen dem Drain-Bereich und dem Kanalbereich ein pn-Übergang oder ein np-Übergang entsteht.

[0018] Es kann aber auch nur der Source-Bereich bzw. der Drain-Bereich oder der Kanalbereich dotiert werden.

[0019] Zur Verringerung von Leckströmen ist es im Fall von pn-Übergängen oder np-Übergängen ferner sinnvoll, kleine Bereich mit einer Größe von ungefähr 1 nm bis ungefähr 5 nm der Nanoröhre zwischen dem p-dotierten Bereich und dem n-dotierten Bereich undotiert zu lassen.

[0020] Anschaulich kann die Erfindung darin gesehen werden, dass in der Nähe des Kanalbereichs der ersten Nanoröhre eine zweite Nanoröhre als steuerndes Element derart angeordnet ist, dass die Leitfähigkeit der ersten Nanoröhre in dem den Kanalbereich bildenden Teil der ersten Nanoröhre bedarfsgerecht gesteuert werden kann.

[0021] Es ist anzumerken, dass die beiden Nanoröhren sich nicht berühren, das heißt sie sind nicht in körperlichen Kontakt miteinander gebracht, sondern durch ein Dielektrikum, im einfachsten Fall durch Luft, einem Gas oder Vakuum, voneinander getrennt. Dennoch ist zu gewährleisten, dass mittels des Feldeffekts die Leitfähigkeit der ersten Nanoröhre ausreichend beeinflusst werden kann.

[0022] Alternativ kann das Dielektrikum auch durch ein zwischen die beiden Nanoröhren eingebrachtes, elektrisch nichtleitendes Gas gebildet werden.

[0023] Der kürzeste Abstand zwischen der ersten Nanoröhre und der zweiten, steuernden Nanoröhre wird in Abhängigkeit von einem maximal tolerierbaren Tunnelstrom zwischen den beiden Nanoröhren und der gewünschten Versorgungsspannung, mit der der Feldeffekttransistor betrieben wird, gewählt. Beispielsweise ist bei zwei Kohlenstoff-Nanoröhren, wobei die zweite Nanoröhre im wesentlichen senkrecht zu der ersten Nanoröhre angeordnet ist, bei einem Durchmesser der beiden Nanoröhren von 1 nm bis 10 nm, der Abstand in einem Bereich von 0,5 nm bis 5 nm zu wählen. Anschaulich sind die beiden Nanoröhren in diesem Fall T-förmig zueinander angeordnet, so dass der Feldeffekttransistor eine T-förmige Struktur aufweist.

[0024] Weiterhin kann als Dielektrikum auch eine Isolationsschicht, d. h. eine Schicht aus elektrisch nichtleitendem Material verwendet werden, beispielsweise aus einem Oxidmaterial, z. B. aus Siliziumdioxid oder aus einem Nitridmaterial, z. B. aus Siliziumnitrid.

[0025] Es ist in diesem Zusammenhang lediglich erforderlich, dass zwischen den beiden Nanoröhren im wesentlichen kein Stromfluss möglich ist, maximal ein zu vernachlässigender Tunnelstrom.

[0026] Die Nanoröhren können als halbleitende und/oder metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhren ausgestaltet sein.

[0027] Ferner können einwandige und/oder mehrwandige Nanoröhren, insbesondere Kohlenstoff-Nanoröhren verwendet werden.

[0028] Die zweite Nanoröhre kann drei Enden aufweisen, wobei an ein Ende eine elektrische Spannung anlegbar ist und die beiden weiteren Enden derart angeordnet sind, dass von ihnen aufgrund der angelegten elektrischen Spannung die Leitfähigkeit des Kanalbereichs der ersten Nanoröhre verändert werden können.

[0029] Durch diese Weiterbildung wird es möglich, den Kanalbereich, d. h. den aktiven Bereich, in dem die Leitfähigkeit verändert werden kann, zu vergrößern, wodurch auftretende Leckströme im gesperrten Zustand des Feldeffekttransistors erheblich reduziert werden.

[0030] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Feldeffekttransistor zwei Gates aufweist, mit denen jeweils der Feldeffekttransistor geschaltet, d. h. die Leitfähigkeit in dem den Kanalbereich des Feldeffekttransistors bildenden Teil der ersten Nanoröhre verändert werden kann.

[0031] Durch diese Ausgestaltung wird die Fehleranfälligkeit und Störsicherheit verbessert.

[0032] In diesem Fall ist eine dritte Nanoröhre vorgesehen, die einen zweiten Gate-Bereich des Feldeffekttransistors bildet, wobei die dritte Nanoröhre eine halbleitende und/oder eine metallisch leitende Nanoröhre ist. Die erste Nanoröhre und die dritte Nanoröhre sind in einem Abstand voneinander angeordnet derart, dass kein Tunnelstrom zwischen den Nanoröhren möglich ist und dass mittels eines Feldeffekts durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die dritte Nanoröhre die Leitfähigkeit des Kanalbereichs der ersten Nanoröhre steuerbar ist.

[0033] Die zweite Nanoröhre und die dritte Nanoröhre können ferner elektrisch miteinander gekoppelt sein.

[0034] Allgemein kann grundsätzlich eine vorgebbare Anzahl weiterer Kohlenstoff-Nanoröhren auf weiteren Isolatorschichten als weitere Gates des Feldeffekttransistors aufgewachsen sein, wodurch eine einfache logische ODER-Anordnung mittels eines Feldeffekttransistors geschaffen wird.

[0035] Weiterhin kann jede Nanoröhre gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung eine Mehrzahl oder sogar eine Vielzahl, anschaulich ein ganzes Bündel einzelner Nanoröhren aufweisen, wodurch die Stabilität und die Zuverlässigkeit des gebildeten Feldeffekttransistors weiter verbessert wird.

[0036] Die Enden der in dem Feldeffekttransistor verwendeten Nanoröhren können wahlweise offen oder geschlossen sein.

[0037] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden im weiteren näher erläutert.

[0038] Es zeigen

[0039] Fig. 1 einen Querschnitt eines Feldeffekttransistors gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0040] Fig. 2 einen Querschnitt eines Feldeffekttransistors gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0041] Fig. 3 einen Querschnitt eines Feldeffekttransistors gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0042] Fig. 4 einen Querschnitt eines Feldeffekttransistors gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0043] Fig. 5 einen Querschnitt eines Feldeffekttransistors gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

[0044] Fig. 6 einen Querschnitt eines Feldeffekttransistors gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0045] In den im weiteren beschriebenen Ausführungsbeispielen sind gleiche Elemente eines Feldeffekttransistors mit identischen Bezugszeichen gekennzeichnet.

[0046] Fig. 1 zeigt einen Feldeffekttransistor 100 gemäß

einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0047] Der Feldeffekttransistor 100 weist eine elektrisch halbleitende oder metallisch leitende erste Kohlenstoff-Nanoröhre 101 auf der Länge von ungefähr bis zu 100 nm und einer Dicke von ungefähr 1 nm bis 10 nm.

[0048] Die erste Kohlenstoff-Nanoröhre 101 sowie alle im weiteren beschriebenen Kohlenstoff-Nanoröhren, auch die Kohlenstoff-Nanoröhren der weiteren Ausführungsbeispiele werden mittels eines Abscheideverfahrens aus der Gasphase, wie es in [2] beschrieben ist oder mittels Aufwachsens, wie es in [3] beschrieben ist, hergestellt.

[0049] Die erste Kohlenstoff-Nanoröhre 101 weist einen Source-Bereich 102, einen Kanalbereich 103 sowie einen Drain-Bereich 104 des Feldeffekttransistors 100 auf.

[0050] Auf der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 101 ist in dem Kanalbereich 103 eine Isolatorschicht 105 aus Siliziumnitrid oder Siliziumdioxid mittels eines CVD-Verfahrens oder eines Sputter-Verfahrens aufgebracht. Die Isolatorschicht 105 weist eine Dicke von ungefähr 2 nm bis 5 nm und eine Länge auf, die mindestens so groß ist wie die Länge des Kanalbereichs 103.

[0051] Im wesentlichen senkrecht zu der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 101 ist auf der Isolatorschicht eine zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 106 aufgewachsen gemäß dem in [y] beschriebenen Verfahren.

[0052] Die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 106 weist eine Länge von ungefähr 10 nm und eine Dicke von ungefähr 1 nm bis 10 nm auf.

[0053] Es ist in diesem Zusammenhang anzumerken, dass es für die Funktionalität im wesentlichen unerheblich ist, wie lang oder wie dick eine Kohlenstoff-Nanoröhre 101, 106 ist. Sie können sich auch erheblich voneinander unterscheiden.

[0054] Ferner können die Kohlenstoff-Nanoröhren 101, 106 auch eine gebogene, d. h. gekrümmte Form aufweisen, so lange die oben beschriebene Funktionalität gewährleistet ist.

[0055] An die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 106, die als Gate des Feldeffekttransistors fungiert, wird eine elektrische Steuerspannung, die Gate-Spannung angelegt, wodurch ein elektrisches Feld erzeugt wird. Durch das elektrische Feld wird mittels eines Feldeffekts in dem Kanalbereich 103 das Potential verändert und damit die elektrische Leitfähigkeit der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 101 gesteuert.

[0056] Fig. 2 zeigt einen Feldeffekttransistor 200 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0057] Der Feldeffekttransistor 200 unterscheidet sich von dem Feldeffekttransistor 100 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel im wesentlichen dadurch, dass die erste Kohlenstoff-Nanoröhre 201 gebildet wird durch drei, miteinander elektrisch leitend gekoppelte Kohlenstoff-Nanoröhren 202, 203, 204.

[0058] Eine erste Teil-Nanoröhre 202, die den Source-Bereich des Feldeffekttransistors 200 bildet, ist eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre.

[0059] Eine zweite Teil-Nanoröhre 203, die den Kanalbereich des Feldeffekttransistors 200 bildet, ist eine halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhre.

[0060] Eine dritte Teil-Nanoröhre 204, die den Drain-Bereich des Feldeffekttransistors 200 bildet, ist wiederum eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre.

[0061] Gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel ist die zweite Teil-Nanoröhre 203 länger als die Dicke der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 106, d. h. in anderen Worten, die zweite Teil-Nanoröhre 203 geht lateral über den Durchmesser der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 106 hinaus.

[0062] Fig. 3 zeigt einen Feldeffekttransistor 300 gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0063] Der Feldeffekttransistor 300 unterscheidet sich von dem Feldeffekttransistor 200 gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel im wesentlichen dadurch, dass die zweite Teil-Nanoröhre 203 kürzer ist als die Dicke der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 106, d. h. in anderen Worten, die zweite Teil-Nanoröhre 203 ist die Ausdehnung des Kanalbereichs lateral geringer als der Durchmesser der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 106.

[0064] Allgemein ist anzumerken, dass je länger der Kanalbereich, beispielsweise die zweite Teil-Nanoröhre 203 ist, desto geringer sind die Leckströme innerhalb des gesperrten Feldeffekttransistors. Andererseits ist der Einfluss der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 106, die das Gate des Feldeffekttransistors bildet um so größer, je kürzer der Kanalbereich, beispielsweise die zweite Teil-Nanoröhre 203 ist.

[0065] Fig. 4 zeigt einen Feldeffekttransistor 400 gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0066] Die erste Kohlenstoff-Nanoröhre 401 des Feldeffekttransistors 400 weist insgesamt fünf Teil-Nanoröhren 402, 403, 404, 405, 406 auf.

[0067] Eine erste Teil-Nanoröhre 402, die den Source-Bereich des Feldeffekttransistors 400 bildet, ist eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre.

[0068] Der Kanalbereich des Feldeffekttransistors 400 wird von der zweiten Teil-Nanoröhre 403, der dritten Teil-Nanoröhre 404 und der vierten Teil-Nanoröhre 405 gebildet, wobei die zweite Teil-Nanoröhre 403 eine halbleitende, die dritte Teil-Nanoröhre 404 eine metallisch leitende und die vierte Teil-Nanoröhre 405 wiederum eine halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhre ist.

[0069] Die fünfte Teil-Nanoröhre 406, die den Drain-Bereich des Feldeffekttransistors 400 bildet, ist wiederum eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre.

[0070] Somit wird der Kanalbereich allgemein gebildet von Teil-Nanoröhren, wobei an jedem Ende des Kanalbereichs eine halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhre angeordnet ist und dazwischen eine beliebige Anzahl metallisch leitender und halbleitender Kohlenstoff-Nanoröhren.

[0071] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel ist die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 407 gamma-förmig, d. h. die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 407 weist zwei Verzweigungen 408, 409, allgemein eine beliebige Anzahl von Verzweigungen auf, wobei die Verzweigungen 408, 409 auf der Isolatorschicht 105 über dem Bereich der zweiten Teil-Nanoröhre 403 und der vierten Teil-Nanoröhre 405 angeordnet, wodurch auf einfache Weise der Kanalbereich des Feldeffekttransistors 400 erweitert werden kann.

[0072] Fig. 5 zeigt einen Feldeffekttransistor 500 gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0073] Der Feldeffekttransistor 500 unterscheidet sich von dem Feldeffekttransistor 300 gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel im wesentlichen dadurch, dass auf der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre in dessen Kanalbereich eine zweite Isolatorschicht 501 aufgebracht ist und eine dritte Kohlenstoff-Nanoröhre 502 auf dieser aufgewachsen ist.

[0074] Die dritte Kohlenstoff-Nanoröhre 502 ist mit der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 106 elektrisch gekoppelt, so dass anschaulich ein Feldeffekttransistor 500 mit mehreren Gates gebildet wird.

[0075] Allgemein kann grundsätzlich eine vorgebbare Anzahl weiterer Kohlenstoff-Nanoröhren (nicht dargestellt) auf weiteren Isolatorschichten oder einer Isolatorschicht, die durchgängig um die erste Kohlenstoff-Nanoröhre herum aufgebracht ist, aufgewachsen sein.

[0076] Fig. 6 zeigt einen Feldeffekttransistor 600 gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0077] Der Feldeffekttransistor 600 unterscheidet sich von

dem Feldeffekttransistor 300 gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel im wesentlichen dadurch, dass die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre gebildet wird durch eine Vielzahl, d. h. anschaulich ein Bündel von Kohlenstoff-Nanoröhren 601, die gemeinsam als Gate des Feldeffekttransistors 600 verwendet werden.

[0078] In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

[1] U. Tietze, Ch. Schenk, Halbleiterschaltungstechnik, 11. Auflage, Springer Verlag, ISBN 3-540-64192-0, S. 187-218, 1999.

[2] Z. F. Ren et al. Synthesis of Large Arrays of Well-Aligned Carbon Nanotubes on Glass, *SCIENCE*, Volume 282, S. 1105-1107, November 1998

[3] Young Sang Suh und Yin Seong Lee, Highly-Ordered Two-Dimensional Carbon-Nanotubes Areas, *Applied Physics Letters*, Volume 75, Nr. 14, S. 2047-2049, Oktober 1991

[4] T. Dekker, Carbon-Nanotubes as Molecular Quantum Wires, *Physics Today*, S. 22-28, Mai 1999

[5] W. Han et al. Synthesis of Boron Nitride Nanotubes From Carbon Nanotubes by a substitution Reaction, *Applied Physics Letters*, Volume 73, Number 21, S. 3085-3087, November 1998

[6] R. Martel et al. Single- and Multi-Wall Carbon Nanotube Field-Effect Transistors, *Applied Physics Letters*, Volume 73, Number 17, S. 2447-2449, Oktober 1998

[7] Sung-Wook Chung et al. Silicon nanowire devices, *Applied Physics Letters*, Vol. 76, No. 15, S. 2068-2070, 1999

#### Bezugszeichenliste

- 100 Feldeffekttransistor
- 101 Erste Kohlenstoff-Nanoröhre
- 102 Source-Bereich
- 103 Kanalbereich
- 104 Drain-Bereich
- 105 Isolatorschicht
- 106 Zweite Kohlenstoff-Nanoröhre
- 200 Feldeffekttransistor
- 201 Erste Kohlenstoff-Nanoröhre
- 202 Erste Teil-Nanoröhre
- 203 Zweite Teil-Nanoröhre
- 204 Dritte Teil-Nanoröhre
- 300 Feldeffekttransistor
- 400 Feldeffekttransistor
- 401 Erste Kohlenstoff-Nanoröhre
- 402 Erste Teil-Nanoröhre
- 403 Zweite Teil-Nanoröhre
- 404 Dritte Teil-Nanoröhre
- 405 Vierte Teil-Nanoröhre
- 406 Fünfte Teil-Nanoröhre
- 407 Zweite Kohlenstoff-Nanoröhre
- 408 Verzweigung
- 409 Verzweigung
- 500 Feldeffekttransistor
- 501 Zweite Isolatorschicht
- 502 Dritte Kohlenstoff-Nanoröhre
- 600 Feldeffekttransistor
- 601 Bündel Kohlenstoff-Nanoröhren

#### Patentansprüche

1. Feldeffekttransistor, mit einer ersten Nanoröhre, die einen Source-Bereich, einen Kanalbereich und einen Drain-Bereich des Feldeffekttransistors bildet, wobei die erste Nanoröhre eine halbleitende und/oder eine metallisch leitende Nano-

röhre ist,

einer zweiten Nanoröhre, die einen Gate-Bereich des Feldeffekttransistors bildet, wobei die zweite Nanoröhre eine halbleitende und/oder eine metallisch leitende Nanoröhre ist, und

wobei die erste Nanoröhre und die zweite Nanoröhre in einem Abstand voneinander angeordnet sind derart, dass im wesentlichen kein Tunnelstrom zwischen den Nanoröhren möglich ist und dass mittels eines Feldeffekts durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die zweite Nanoröhre die Leitfähigkeit des Kanalbereichs der ersten Nanoröhre steuerbar ist.

2. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1, bei dem die erste Nanoröhre und/oder die zweite Nanoröhre eine Kohlenstoff-Nanoröhre ist/sind.

3. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem zwischen die Nanoröhren elektrisch nicht leitendes Gas eingebracht ist.

4. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die erste Nanoröhre und/oder die zweite Nanoröhre mehrere Wände aufweist.

5. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

bei dem zumindest auf dem Kanalbereich der ersten Nanoröhre eine Isolatorschicht aufgebracht ist, und bei dem auf der Isolatorschicht die zweite Nanoröhre aufgebracht ist.

6. Feldeffekttransistor nach Anspruch 5, bei dem die Isolatorschicht ein Oxidmaterial oder ein Nitridmaterial enthält.

7. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die zweite Nanoröhre drei Enden aufweist, wobei an ein Ende eine elektrische Spannung anlegbar ist und die beiden weiteren Enden derart angeordnet sind, dass von ihnen aufgrund der angelegten elektrischen Spannung die Leitfähigkeit des Kanalbereichs der ersten Nanoröhre verändert werden können.

8. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

bei dem eine dritte Nanoröhre vorgesehen ist, die einen zweiten Gate-Bereich des Feldeffekttransistors bildet, wobei die dritte Nanoröhre eine halbleitende und/oder eine metallisch leitende Nanoröhre ist, und

wobei die erste Nanoröhre und die dritte Nanoröhre in einem Abstand voneinander angeordnet sind derart, dass kein Tunnelstrom zwischen den Nanoröhren möglich ist und dass mittels eines Feldeffekts durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die dritte Nanoröhre die Leitfähigkeit des Kanalbereichs der ersten Nanoröhre steuerbar ist.

9. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die zweite Nanoröhre und die dritte Nanoröhre miteinander elektrisch gekoppelt sind.

10. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem zumindest eine der Nanoröhren eine Vielzahl von Nanoröhren aufweist.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

60

65

- Leerseite -



FIG 1

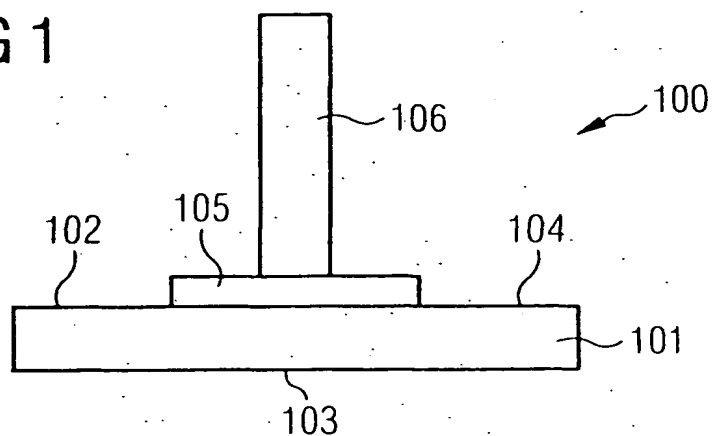


FIG 2

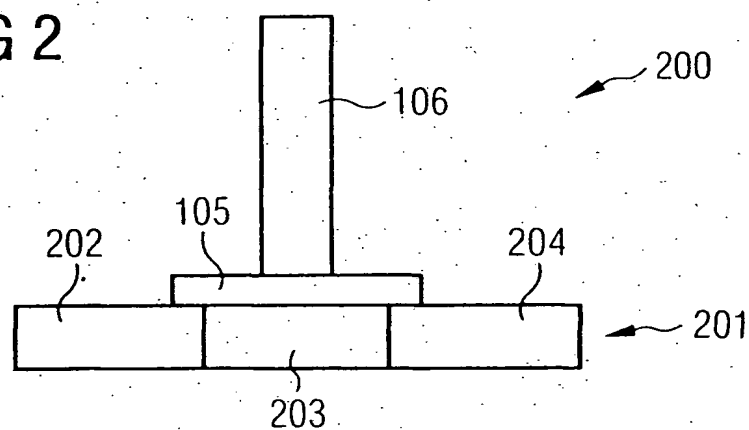


FIG 3

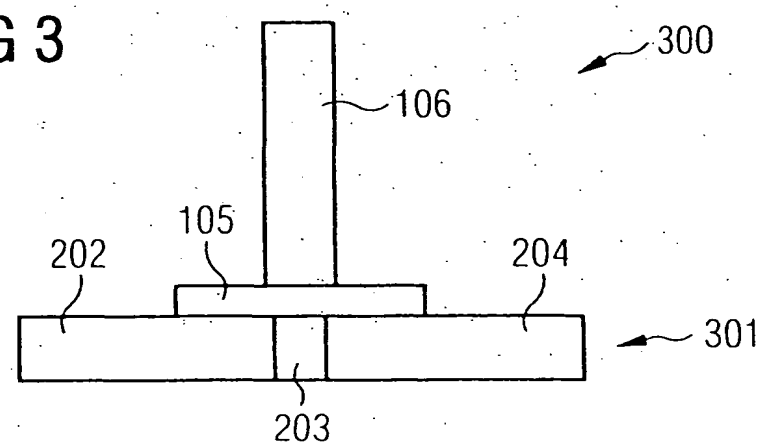


FIG 4

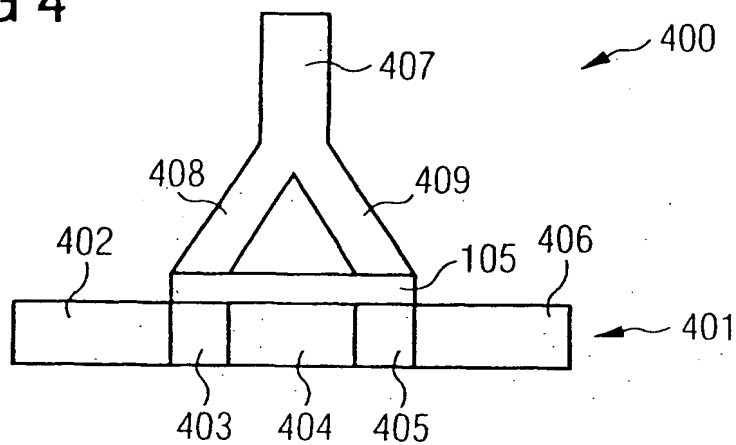


FIG 5

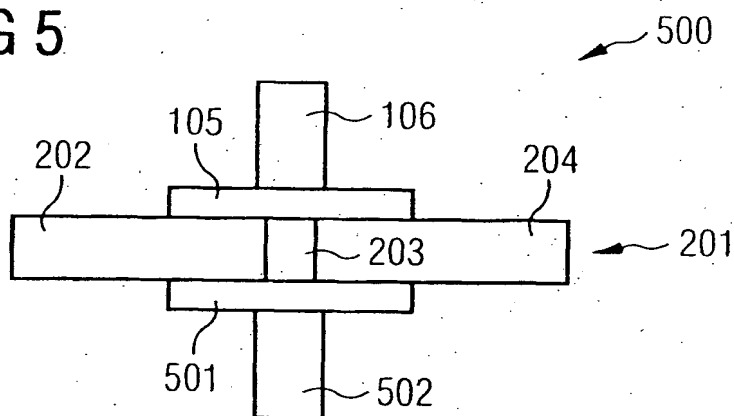


FIG 6

